

海南地区不良路基处理方案的应用

郑小蕾¹, 王汉伟², 敏 玥²

(1. 中国市政工程华北设计研究总院有限公司, 天津市 300074; 2. 中咨泰克交通工程集团有限公司, 北京市 100080)

摘要: 社会经济的发展依赖城市路网建设, 而不良路基的处理是道路建设的重点、难点, 应通过分析不同软基的类型、物理参数、埋深等特性, 从可行性、适用性、经济性等方面进行详细比选, 以确定最合适的处理方案。以海口市江东新区园区配套基础设施配套项目(六期)为例, 依据现行的相关设计规范, 结合项目现场不良路基情况, 通过比选浅层换填、堆载预压、高压旋喷桩、水泥搅拌桩4个方案, 最终选取水泥搅拌桩的处理方式, 并对其进行承载力及沉降验算, 确保设计方案合理。

关键词: 不良路基; 水泥搅拌桩; 承载力; 沉降

中图分类号: U416.1+1

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)07-0059-03

Application of Treatment Scheme for Poor Roadbed in Hainan Region

ZHENG Xiaolei¹, WANG Hanwei², MIN Yue²

(1. China Municipal Engineering North China Design Research Institute Co., Ltd., Tianjin 300074, China; 2. China Consulting Taikete Transportation Engineering Group Co., Ltd., Beijing 100080, China)

Abstract: The development of social economy relies on the construction of urban road networks, and the treatment of poor roadbeds is the key and difficult point of road construction. It is necessary to analyze and compare the types, physical parameters and burial depths of different soft foundations in detail from the feasibility, applicability, economy and other aspects to determine the most suitable treatment scheme. Taking the supporting infrastructure project (Phase VI) of Jiangdong New Area Park in Haikou City as an example, based on the current relevant design specifications and combined with the poor roadbed conditions at the project site, four schemes of shallow replacement and filling, preloading, high-pressure rotary jet grouting pile and cement mixing pile are compared. Finally, the treatment method of cement mixing pile is selected, and the bearing capacity and settlement of this treatment method are checked to ensure the rationality of the design scheme.

Keywords: poor roadbed; cement mixing pile; bearing capacity; settlement

0 概述

近年来,随着社会经济的快速发展,人民生活水平、消费水平不断提高,对城市市政基础设施的建设提出了更高的要求,而城市发展的基础依赖于完善的路网结构。在城市道路的建设过程中,不良路基处理作为项目建设的重点难点,需要从可行性、适用性、经济性等方面进行详细分析,以选取最佳的处理方案。

本文以海口市江东新区园区配套基础设施配套项目(六期)为例,针对项目现场的不良路基情况进行具体分析。

收稿日期: 2024-05-22

作者简介: 郑小蕾(1994—), 女, 学士, 工程师, 从事道路交通设计工作。

1 地质岩层结构

根据《江东新区红树林南片区基础设施配套工程地质详细勘察报告书》, 拟建道路场地底层自上而下具体见表1所列。道路全线分布夹层淤泥质粉质黏土, 淤泥埋深约为2.6~17.0 m, 有机质平均含量为6.21%, 含水量平均值为42.57%, 抗剪强度为12.22 kPa。

2 不良路基处理方案比选

针对不良路基的土质类型、埋深、有机质含量等不同特性, 需要采取不同的处理方式。按照相关规范中对不良路基处理的说明及验算方法, 本次对常见的路基处理方式进行对比分析。

2.1 浅层换填

浅层换填适用于处理软土厚度小于3 m的浅层

表1 地基处理设计参数表

编号/地层	天然重度 $\gamma/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$	压缩模量 E_{s1-2}/MPa	承载力 特征值 f_{ak}/kPa	侧阻力 特征值 q_{si}/kPa
①素填土	(18.00)	—	—	10
②淤泥质粉质黏土	17.84	3.22	—	8
③粉质黏土	19.24	5.96	150	12
④淤泥质粉质黏土	17.08	2.97	70	8
⑤ ₁ 粉质黏土	19.94	5.73	180	15
⑤ ₂ 中砂	(19.00)	(8.00*)	180	17
⑥淤泥质粉质黏土	16.38	2.31	70	8
⑦ ₁ 生物碎屑粉质黏土	19.22	5.02	160	12
⑦ ₂ 生物碎屑砂	(19.00)	(6.00*)	180	17
⑧粉质黏土	18.82	5.93	220	18

注:1. 括号内表示经验值。
2. *表示变形模量。

不良地基^[5]。具体做法为将路基范围内的不良质土全部挖除,换填合格土。如遇地下水位较高时,可先换填50 cm碎石、砂砾等排水垫层,其上回填合格土。
该方案适用于各种类型的不良质土的处理,且处理方式彻底,但仅适用于浅层软基处理。

2.2 堆载预压法

堆载预压适用于处理淤泥质土、淤泥、冲填土等饱和黏性土地基^[4]。具体做法为在路基范围内先铺设砂垫层和土工布,在软基中竖向设置塑料排水板,横向布设排水措施,再分层进行堆载预压,挤压排出土层间的孔隙水,使得地基产生沉降,土层逐渐固结,从而使地基承载力、稳定性得到提高。

该方案用于处理埋深较深的淤泥质土时经济性明显,处理后地基均匀性好;但需堆载预压,堆载预压的时间不宜低于6个月,工期时间长,且填方段需增加管线基坑支护的深度和投资。

2.3 高压旋喷桩

高压旋喷桩适用于处理淤泥、砂土、黄土、素填土和碎石土等地基^[2]。它是利用钻机设备将水泥浆喷射至土体,借助设备的高压及水泥浆所产生的冲击力对土层进行切削,通过充分搅拌,使得土体与水泥浆凝固形成固结体,并与桩间土形成了一种新的复合地基,从而提高地基土的承载力。

高压旋喷桩处理效果显著,速度快,噪音小,设备简单,机械化程度高,但其造价相对较高。

2.4 水泥搅拌桩

水泥搅拌桩适用于处理十字板抗剪强度不小于10 kPa、有机质含量不大于10%软土地基^[2]。它是通过搅拌桩机将水泥喷入土层,以水泥为固化剂进行

充分搅拌,使得与土体充分发生反应,从而达到硬结软土、提高地基强度的目的。

此方法适用于淤泥层较厚的软基处理,技术成熟,施工相对简单,且振动小,成本相对较低,但其成桩速度较高压旋喷桩慢。

2.5 方案比选

通过以上路基处理方案分析,选取纵二路(城市支路)AK0+290-AK0+440段进行比选,根据地勘报告,该段Z2L04号孔,土层分布分别为1.8 m①素填土、13.2 m②淤泥质粉质黏土。具体比选分析如表2所列。

表2 不良路基方案比选表

处理方案	浅层换填	堆载预压	桩基处理(高压旋喷桩、水泥搅拌桩)
处理深度/m	≤3	≥3	≤20
实施工期/月	≥3	≥6	≥3
外购换填土/ m ³	8 550	4 275	—
其他说明	>3 m的 换填需考 虑支护	附近存在沉降要 求严格的建筑和 管线时不宜采用	固化剂为水泥(强度 等级≥42.5),桩顶需 设置褥垫层

考虑项目场地路床存在较深淤泥质土,而浅层换填不适合埋深较深的软基处理;堆载预压处理方案要求工期较长,而本项目工期紧张;因此本次对高压旋喷桩及水泥搅拌桩方案进行分析论证。本次设计桩长按10 m进行计算^[1],具体方案对比如表3所列。

3 水泥搅拌桩设计及验算

3.1 桩长与桩间距的确定及验算

本次设计针对纵二路AK0+290~AK0+440段采用水泥搅拌桩进行处理计算,该路段为填方段,桩顶需回填1.5 m素填土至设计路面标高。根据相关设计规范,参考图集《城市道路—软土地基处理》,并结合经验,同时考虑造价及施工难易程度等因素,本次设计水泥搅拌桩桩长采用10 m(未打穿淤泥层),桩间距为红线范围内采用1.2 m,红线至坡脚范围内采用1.5 m,具体验算如表4所列。

3.2 沉降计算

根据地勘报告,结合相关规范,采用理正岩土软件计算得出沉降 S_c 为299.31 mm,本次设计最终沉降计算采用沉降系数法,具体计算如下:

$$S_{\Sigma}=(0.123\times\gamma^{0.7}\times(\theta\times H^{0.2}+V\times H)+Y)\times S_c=0.123\times20^{0.7}\times(0.85\times1.5^{0.2}+0.025\times1.5)+0)\times299.31=287.34\text{ mm}$$

经以上计算,本次设计采用水泥搅拌桩处理后路基沉降量小于500 mm,满足规范要求。

表 3 水泥搅拌桩与高压旋喷桩对比表

项目名称	水泥搅拌桩	高压旋喷桩
桩的周长/截面积	$u_p = \pi dz = 3.14 \times 0.5 = 1.57 \text{ m}; A_p = \pi (dz/2)^2 = 3.14 \times (0.5/2)^2 = 0.196 \text{ m}^2$	
处理面积	长度 150 m, 宽度 17 m, 面积 2 550 m ²	
布置方式	等边三角形	
桩径/m	0.5	
桩间距/m	1.2	1.5
单桩承载力 R_{a1} /kPa	$R_{a1} = u_p \sum q_{si} l_i + \alpha_p q_p A_p = 1.57 \times (10 \times 1.8 + 8 \times 8.2) + 0.5 \times 70 \times 0.196 = 138.112$	$R_{a1} = u_p \sum q_{si} l_i + \alpha_p q_p A_p = 1.57 \times (10 \times 1.8 + 8 \times 8.2) + 0.5 \times 70 \times 0.196 = 138.112$
单桩承载力 R_{a2} /kPa	$R_{a2} = \eta f_{cu} A_p = 0.25 \times 1\ 800 \times 0.196 = 88.2$	$R_{a2} = \eta f_{cu} A_p = 0.25 \times 2\ 600 \times 0.196 = 127.4$
复合地基承载力特征值/kPa	$f_{spk} = \lambda m \times R_{a2} / A_p + \beta (1-m) f_{sk} = 1 \times 0.157 \times 88.2 / 0.196 + 0.7 \times (1-0.157) \times 70 = 111.957$	$f_{spk} = \lambda m \times R_{a2} / A_p + \beta (1-m) f_{sk} = 1 \times 0.101 \times 127.4 / 0.196 + 0.7 \times (1-0.101) \times 70 = 109.701$
根数/根	$m \times A / A_p = 0.157 \times 2\ 550 / 0.196 = 2\ 043$	$m \times A / A_p = 0.101 \times 2\ 550 / 0.196 = 1\ 314$
总长/m	20 430	13 140
单价/(元·m ⁻¹)	68	200
总价/万元	139	263

表 4 水泥搅拌桩桩间距对地基承载力对比表

项目名称	水泥搅拌桩(红线范围内)	水泥搅拌桩(红线至坡脚范围内)
布置方式	等边三角形布置, 桩径 0.5 m	
桩间距/m	1.2	1.5
复合地基承载力特征值/kPa	$f_{spk} = \lambda m \times R_{a2} / A_p + \beta (1-m) f_{sk} = 1 \times 0.157 \times 88.2 / 0.196 + 0.7 \times (1-0.157) \times 70 = 111.957 > 100$	$f_{spk} = \lambda m \times R_{a2} / A_p + \beta (1-m) f_{sk} = 1 \times 0.101 \times 88.2 / 0.196 + 0.7 \times (1-0.101) \times 70 = 89.501 > 80$

3.3 水泥搅拌桩设计

根据该项目的详勘资料,场地淤泥质土有机质平均含量小于 10%,抗剪强度大于 10 kPa,可采用水泥搅拌桩进行处理。本次设计水泥搅拌桩桩径为 50 cm,采用正三角形布置,一般路段道路红线范围内(A区)桩间距 1.2 m,道路红线至坡脚外 1 m(B区)桩间距 1.5 m,如图 1 所示。水泥搅拌桩施工至桩顶高程后,应反开挖 50 cm,施作 50 cm 碎石垫层,垫层中部铺设土工格栅。

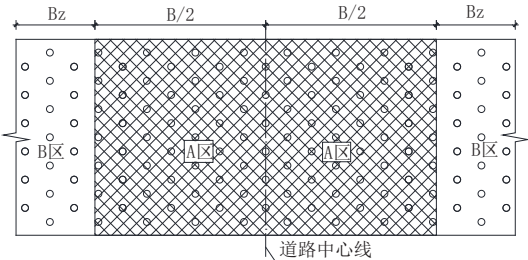


图 1 水泥搅拌桩地基处理平面示意图

水泥搅拌桩单桩承载力不小于 88 kPa,地基加固后复合地基承载力为:A区不小于 100 kPa,B区不小于 80 kPa。

施工前应仔细核对管线底标高与桩顶标高。为节约成本,本次水泥搅拌桩与管线冲突部分采用空桩处理,冲突部分应以管线底标高作为桩顶标高,凿

除桩头换填碎石垫层作为管线基础,如图 2 所示。

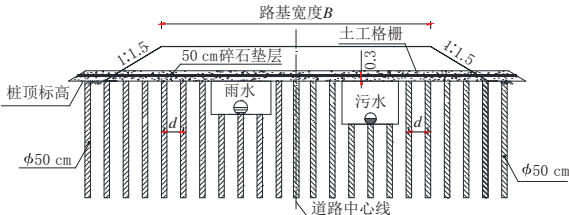


图 2 水泥搅拌桩地基处理横断面图

4 结 语

本文以海口市江东新区园区配套基础设施配套项目(六期)为例,通过对不良路基的特性进行详细分析,并通过多方案的比选,最终采用水泥搅拌桩进行处理。确定不良地基处理方式后,还需通过对处理后的复合地基承载力及沉降进行验算,以保证设计方案的可行性、合理性。

参考文献:

[1] 中国市政工程华北设计研究总院有限公司.海口市江东新区园区配套基础设施配套项目(六期)施工图设计[Z].天津:中国市政工程华北设计研究总院有限公司,2024.
[2] JTG/T D31-02—2013,公路软土地基路堤设计与施工技术细则[S].
[3] GB 50007—2011,建筑地基基础设计规范[S].
[4] CJJ 37—2012,城市道路工程设计规范(2016年版)[S].
[5] 15MR301,城市道路—软土地基处理[S].